

湖山池における水質特性とアオコの発生

道上 正規・檜谷 治

土木工学科

(1993年9月1日受理)

Characteristics of Water Quality and Phytoplankton Bloom in Koyama Lake

by

Masanori MICHIE and Osamu HINOKIDANI

Department of Civil Engineering

(Received September 1, 1993)

In Koyama lake, phytoplankton blooms sometimes appear in summer season. This phenomenon might be influenced by the water quality such as concentration of nutrients in a lake. Therefore, in this paper, in order to investigate the mechanism of phytoplankton bloom, the water qualities in Koyama lake such as temperature of water and air, pH, DO, turbidity, concentration of Nitrogen, concentration of Phosphorous, were observed from 1991 to 1992. And comparing the water qualities with characteristics of phytoplankton bloom, the mechanism of phytoplankton bloom is also discussed.

Key words : Lake, Phytoplankton bloom, Water quality

1 はじめに

鳥取市西部に位置する湖山池は、市民の生活の場あるいは憩いの場として貴重な水資源となっているが、古くから夏期から秋期にかけてアオコが発生する富栄養湖としても有名である。そこで、近年この湖山池の水質浄化に関する研究が盛んに行われており、鳥取県による浚渫事業も実施されている。しかしながら、下水道が未整備でしかも湖山池周辺の市街化が急速に進んでいる現在、水質が改善されている様子は見受けられない。

本研究では、特に湖山池のアオコの発生メカニズムを解明することを目的とし、1991年および1992年の2年間のアオコ発生状況と水質を観測し、これらのデータの比較検討を行った。

2 調査方法および測定器具

水質調査は、1991年および1992年の4月から11月にかけて、流入河川の影響が少ないと考えられる図-1示す湖山池湖岸の測点1~4において行った。調査項目は、水温、気温、pH、DO、濁度、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 、 T-N 、 T-P およびCODであり、その内の水温、気温、pH、DOおよび濁度は毎週2回、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 、 T-N 、 T-P およびCODは毎週1回測定した。

上記の調査項目の内、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ および $\text{PO}_4\text{-P}$ の無機栄養塩については、0.45 μm のメソソフィルタでろ過した試料を用いて測定を行った。なお、測定器具に関しては昨年度の報告¹⁾と同様である。

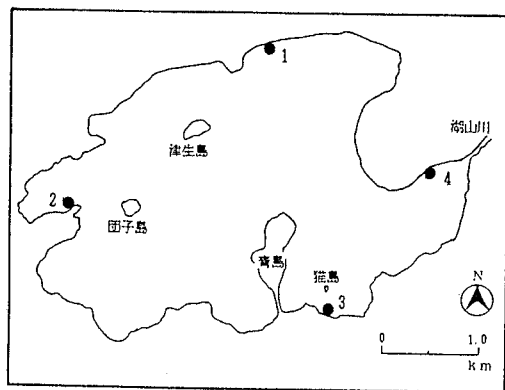


Fig.1 Observed point in Koyama lake

3 湖山池の水質特性

ここでは水質汚濁に直接関与と思われる水温、気温、pH、DO、濁度、COD、栄養塩(DIN、T-N、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 、 T-P)の観測結果に基づいて、湖山池における水質状況について述べる。ただし、4測点中の最大値と、最小値のみを図で示している。

3-1 水温および気温

図-2および図-3に示すのが、水温および気温の日変化である。特にアオコの成長が顕著になると言われている水温25℃以上になる期間について比較すると、1991年では、6月下旬から9月中旬まで水温25℃以上であるのに対し、1992年では、1991年よりやや早く6月上旬に25℃以上となっているが、6月下旬に一旦20℃程度に低下し、再び7月中旬から8月下旬まで25℃以上となっていることがわかる。

3-2 pHおよびDO

図-4および図-5に示すのが、pHおよびDOの日変化である。まず、pHについてみると、春期は最大値と最低値がほぼ一致しており、湖山池内で一様となっているが、夏期以降は場所的に大きく変動していることがわかる。1991年と1992年を比較すると、1991年では6月上旬より場所的変動が見られ、夏期に最大値で10程度まで上昇するものの、最大値と最低値の差はそれほど大きくない。しかしながら、1992年では、最大値と最低値の差はないものの、6月上旬に7から8に上昇し、6月下旬から差が大きくなり10月下旬まで高い値を示している。特に7月中旬では最低値も10以上を示しており、湖山池全体がアルカリ性であったことがうかがえる。一般に、アオコが発生するとアルカリ性に変ることから、この結果から1992年ではアオコが多量に発生していることが推測される。

一方、DOについてみると、全体的傾向は10ppm前後で、夏期に場所的変動が生じ、1991年度では最低値0ppm、1992年では最大値23ppmを観測している。1991年と1992年を比較すると、最大値と最小値の差すなわち場所的変動が1992年の方が大きく、変動が夏期から秋期にかけて長期に及んでいることがわかる。この傾向はpHの傾向と同様である。

3-3 COD

CODとは、化学的酸素要求量のことである。これは、水中における物質の内、化学的に直接酸化できるものの量を表しており、有機物が多いと高い値を示す。図-6に示すのが、CODの日変化である。最低値に関してみると4ppm前後で比較的安定しており、全体的には夏期にやや高くなる傾向にある。しかしながら、最大値についてみると非常に高濃度の地点が存在しており、100ppm以上の値も観測されている。1991年と1992年を比較すると、1991年では最大値は6月から8月に高濃度を示しているが、1992年では5月から10月まで全体的に高濃度で、最大濃度は9月に観測されている。

3-4 栄養塩類

(1) 無機態窒素

まず、無機態窒素の総量であるDINについて見ると、図-7(a)に示すように、夏期に上昇する傾向にあることがわかる。最大値の値についてみると、1991年では6月から8月にかけて1ppm以上の濃度が観測されているが、9月以降は0.2ppm以下と比較的低濃度になっている。一方、1992年では6月下旬から11月まで比較的高濃度が継続していることがわかる。

つぎに、DINの中身についてみる。まず、図-7(b)に示すNH₄-Nについてみると、1991年では6月から7月にかけて高濃度になっているが、7月下旬以降は0.1ppm以下と急激に濃度が減少している。一方、1992年では7月までは非常に低濃度であるが、それ以降11月まで比較的高濃度であることがわかる。つぎに、図-7(c)に示すNO₃-Nをみると、1991年では6月から7月にかけて最大値が高濃度を示している。しかしながら、NH₄-Nに見られるような低濃度期間は観測期間中には見られず、特に1992年を見るとわかるように夏期のNH₄-Nが高濃度の時期にはやや低く、逆にNH₄-Nが低濃度の時に高濃度になっていることがわかる。最後に、図-7(d)に示すNO₂-Nについてみると全体的にNH₄-NおよびNO₃-Nに比べ1オーダー低い濃度となっているが、全体的にはDINの傾向と同様な傾向を示していることがわかる。

(2) 全窒素(T-N)

無機態窒素と有機態窒素の合計であるT-Nについてみると、図-7(e)に示すように全体的にはDINの傾向と同様であるが、1991年より1992年の濃度の方がかなり大きいことがわかる。つまり、最小値についてみると、1991年ではほとんど変化していないが、1992年では6月中旬から10月にかけて上昇しており、湖山池全体で濃度が上昇していることがわかる。また、場所的な高濃度を示す最高値についてみると、1992年の方がかなりの高濃度が観測されており、しかもその期間が非常に長くなっている。

また、DINと比較すると、T-Nの夏期の値はDIN量の2倍以上となっており、この傾向は1992年の方が強い。したがって、T-NはDINと有機態窒素の合計であることから、夏期における有機態窒素量すなわち植物プランクトン量が1991年に比べ1992年の方が多いたことが推察される。

(3) PO₄-P

図-7(f)に示すように、1991年にはあまり検出されていなかったが、1992年では比較的高い値を示している。

(4) T-P

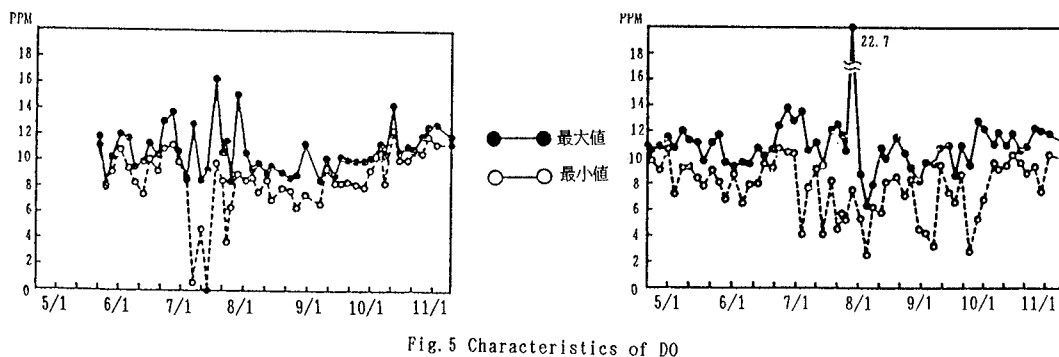
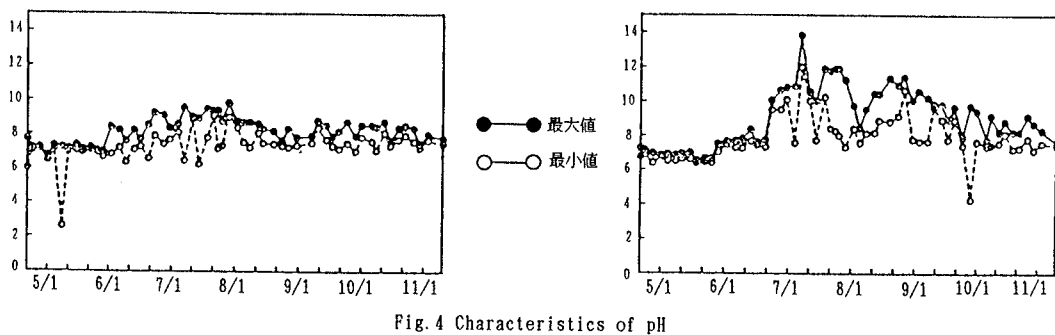
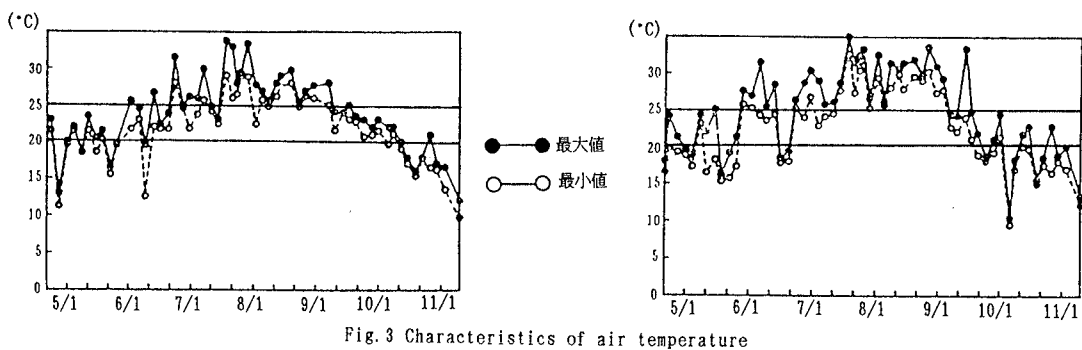
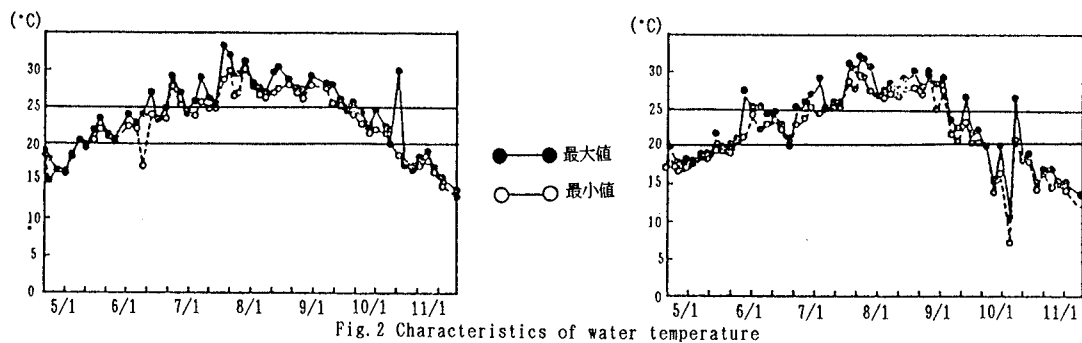
T-Pの観測結果を図-7(g)に示す。まず、1991年と1992年を比較すると、最低値では1991年の方が少なく、この傾向はPO₄-Pと同様であるが、最高値に関しては同程度で、1991年でもかなり高い値が観測されている。最低値が平均的な値と相関があると考えられるので、湖山池全体では1992年の方がT-Pの量が多かったことが推測される。

4 アオコの発生状況と発生要因

4-1 アオコの発生状況

湖山池においては、強風時の底泥からの巻き上げによって湖内の濁度が上昇する場合があるが、そのほとんどが冬期に発生するため、それ以外の期間では、濁度と植物プランクトン量すなわちアオコの発生状況は比例関係にあることが観測されている²⁾。

そこで、湖山池における濁度の最高値と最低値の観測結果を図-8に示す。まず1991年についてみると、最低値が6月上旬から7月下旬において上昇しているこ



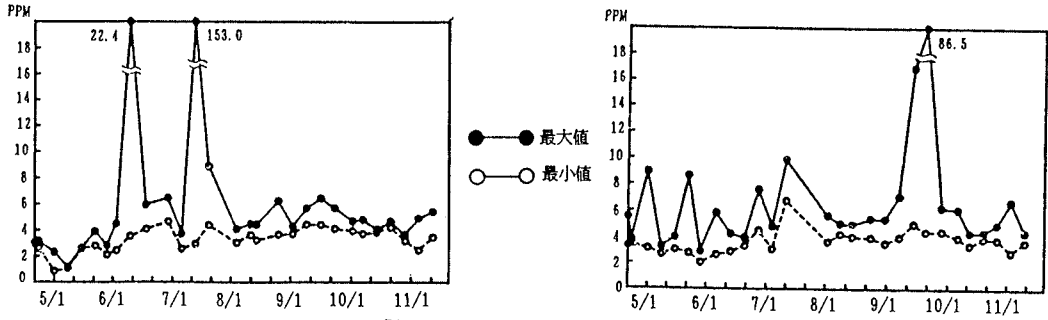


Fig. 6 Characteristics of COD

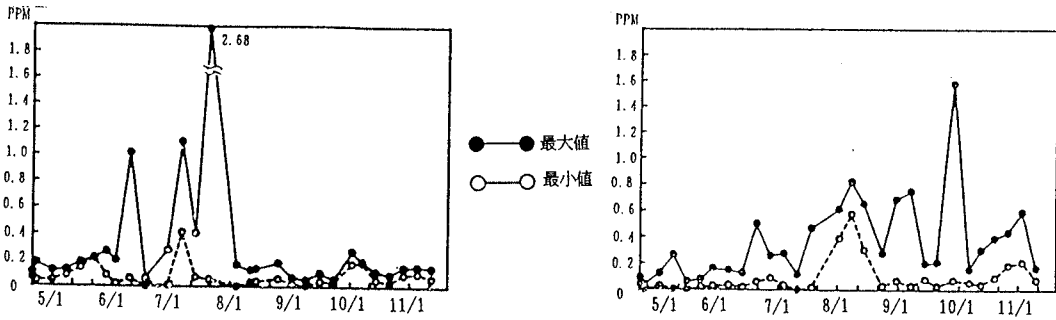


Fig. 7(a) Characteristics of DIN

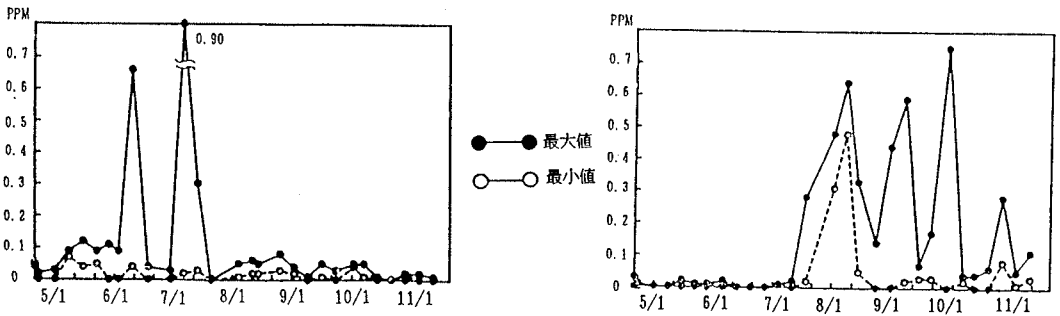


Fig. 7(b) Characteristics of NH₄-N

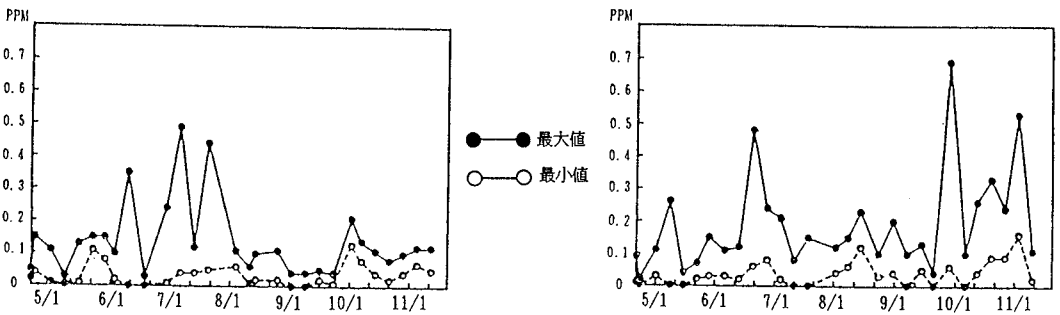


Fig. 7(c) Characteristics of NO₃-N

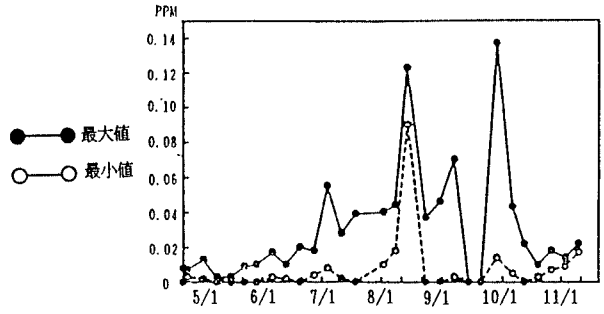
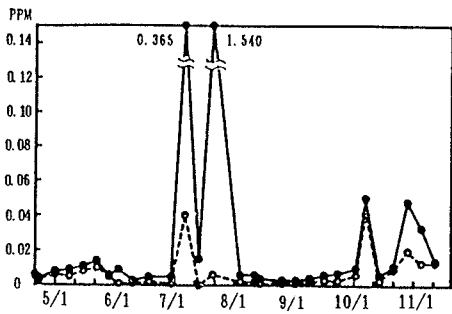


Fig. 7(d) Characteristics of NO₂-N

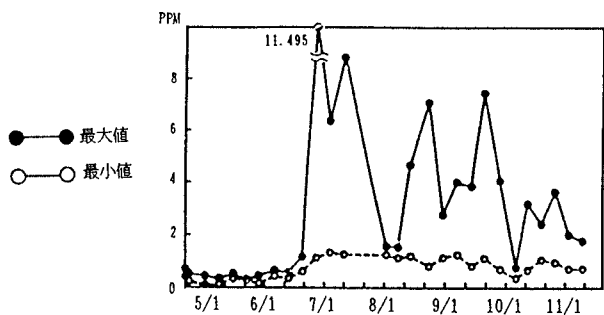
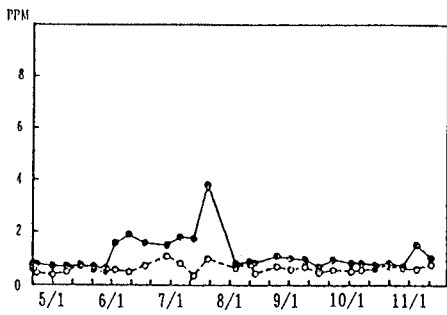


Fig. 7(e) Characteristics of T-N

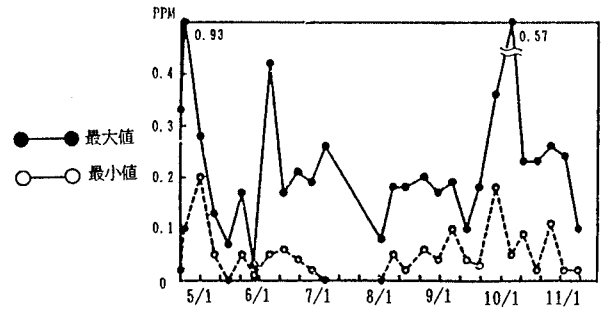


Fig. 7(f) Characteristics of PO₄-P

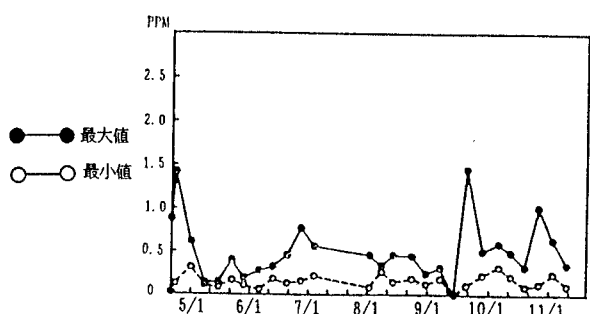
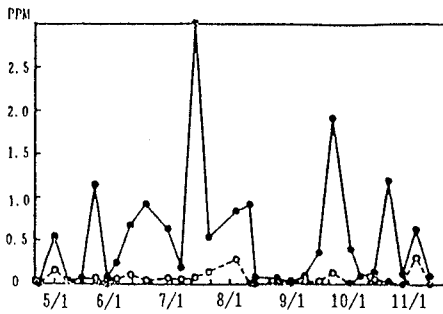


Fig. 7(g) Characteristics of T-P

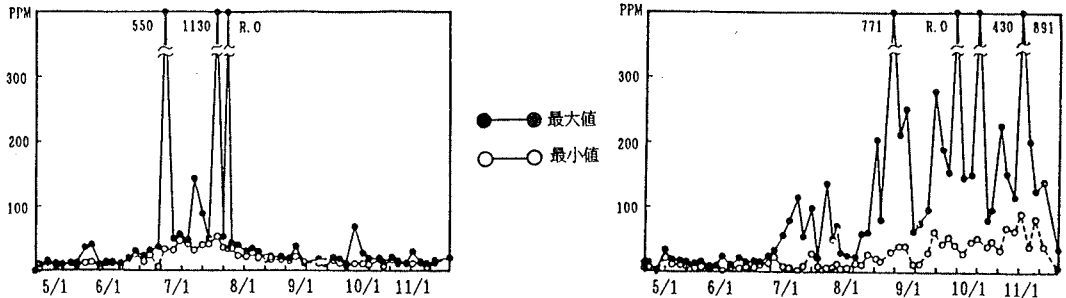


Fig. 8 Characteristics of turbidity

とがわかる。このことから、この時期に植物プランクトン量が湖山池全体で上昇していることが推測される。つぎに、最高値に関してみると、最低値は数10ppmであるのに対し2000ppm以上(図中ではR.Oで示している)が観測されている。この現象をアオコの異常発生と呼んでいるが、局所的に発生することがわかる。

このアオコの異常発生は、吹送時の風下にほとんど発生していることが観測されており、風による吹き寄せとアオコの浮上特性によって発生することが明らかにされている³⁾。

つぎに、1992年についてみると、最低値は6月下旬から徐々に上昇しており、11月末まで高い値が続いており、1991年に比べて植物プランクトン量が多い期間が非常に長くなっていることがわかる。これにともなって、異常発生期間も長期化しており、11月の中旬まで発生していることがわかる。また、最大値を詳細にみると、7月下旬から8月上旬にかけて一度低下している様子が認められる。

4-2 アオコの発生要因に関する考察

上述したように、1991年と1992年のアオコの発生期間が大きく異なっていることから、ここでは、この状況と発生要因と考えられる降水量、日照時間、水温、DOおよび無機栄養塩の観測結果を比較検討することによって、湖山池のアオコの発生要因について検討する。

(1) 降水量

アオコの発生は、湖沼における水の滞留時間によりその増殖量が左右される。そこで、1989年から1992年における湖山川の流入量を従来のタンクモデル法⁴⁾により求めたものを表-1に示す。1991年と199

2年を比較すると、6月の流入量がやや大きいがその他の月に関してはほぼ同様であり、違いは認められない。

(2) 日照時間

図-9に示すのが1991年および1992年の日照時間の変動である。これを見ると、1992年では1月から4月にかけての日照時間が1991年に比べ多くなっていることがわかるが、それ以降についてはあまり変化がみられない。1992年のアオコの長期化が1月から4月まで日照時間の影響とも考えられるが、一般的に湖山池でのアオコの主成分であるMicrocystisの必要とする日光照射量が低いこと⁵⁾より、この日照時間による影響が主要因とは考えにくい。

(3) 水温

図-2に示した水温の観測結果と濁度変化を比較すると、1992年の6月下旬から7月中旬にかけての低水温(25℃以下)と7月下旬の濁度の低下現象が時間的なズレはあるものの現象が似ている。このことは、水温が25℃以下の水温が植物プランクトンの増殖速度に影響していることを意味していると考えられ、水温の低下がアオコ発生に非常に影響することがわかる。一方、それ以後に関してみると、1991年と1992年はほとんど違いはなく、1992年のアオコの長期化に関しては、水温の影響は認められない。

(4) DO

アオコは、低酸素濃度下においてかえってその増殖が活発化する。したがって、アオコの増殖に関して直接影響を及ぼすが、特に湖底付近で嫌気状態になると無機リン等が溶出するため、間接的にも大きな影響を及ぼす。すなわち低酸素濃度が問題となる。そこで、1991年

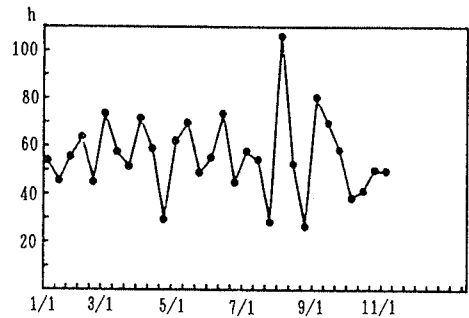
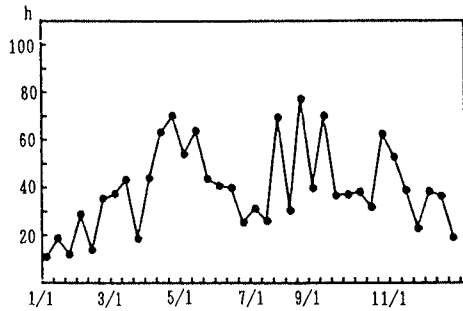


Fig. 9 Characteristics of duration of sunshine

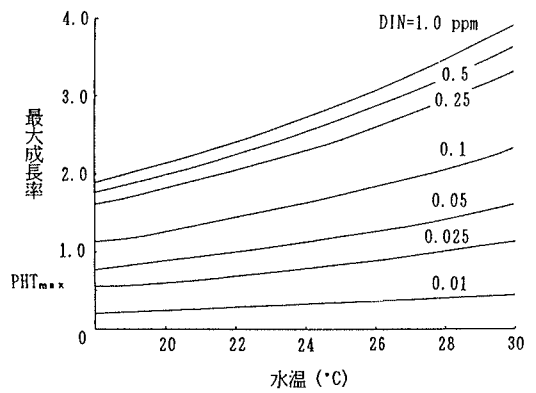
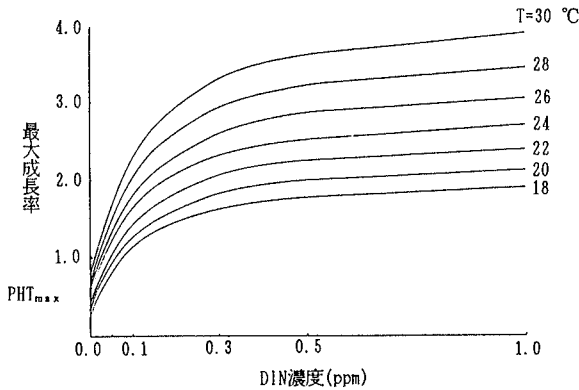


Fig. 10 Relationship between PHTmax, water temperature and DIN

と1992年のDOの結果を見ると、低酸素期間とアオコの発生が比較的良好一致しており、湖山池におけるアオコの発生に大きく影響していることがわかる。

Table 1 Inflow water discharge in Koyama lake

	流入流量 (×10 ⁶ m ³ /月)			
	1989	1990	1991	1992
4月	2.18	8.75	7.36	4.99
5月	5.70	10.89	4.41	4.27
6月	2.80	6.72	11.48	5.26
7月	6.26	7.61	13.32	16.16
8月	14.01	4.59	3.72	4.80
9月	35.52	42.15	2.14	2.96
10月	8.74	18.06	13.57	16.13
11月	13.03	26.66	2.66	12.20

(5) 無機窒素および無機リン

植物プランクトンの栄養としては無機窒素と無機リンが主要な物質であり、この量が増殖速度に影響を及ぼす。従来の研究では、ほとんどのモデルにおいて植物プランクトンの現存量に関する変化を以下のような式で表している。

$$\frac{dP}{dt} = A \cdot P + (G^P - R^P - W^P) \cdot P - GZ^P \quad (1)$$

ここに、P:藻類現存量 (t)、A:移流混合の効果を表すマトリックス (1/d)、G^P:成長速度 (1/d)、R^P:呼吸、自然死等による減衰速度 (1/d)、W^P:沈降による減衰速度 (1/d)、およびGZ^P:被食による減衰速度 (t/d) である。

この(1)式中の成長速度が栄養塩の影響を受ける。一般に、増殖速度G^Pの変化要因としては、光強度、水温、栄養塩等が挙げられるが、上述したようにMicrocystisの必要とする日照量を考えると、光強度による影響をほと

んど受けていないと考えられるため、光強度は一定と考え、栄養塩濃度と水温による影響を考える。また、この成長速度に関しても様々な式が提案されているが、ここでは以下のような最大総成長率 PHT_{max} を求める式⁹⁾を用いる。

$$PHT_{max} = a_1 \exp\{a_2 (T-20)\} \frac{DIN}{k_N + DIN} \frac{DIP}{k_P + DIP} \quad (2)$$

ここに、 a_1 、 a_2 、 k_N および k_P は定数で、 T は水温、 DIN および DIP は無機窒素および無機リンの量である。

図-10に(2)式を用いて計算された水温および栄養塩濃度と植物プランクトンの最大成長速度の関係を示す。なお、栄養塩に関してはMicrocystis等が属する藍藻類の増殖がかなり低濃度のリン分においても可能であるため⁹⁾、無機リンの項を1と仮定し、無機窒素によるもののみについて示す。また、定数に関しては、松岡による霞ヶ浦の検討結果⁹⁾をそのまま用いた($a_1=2.32$ 、 $a_2=0.06$ 、 $k_N=0.082$)。この結果より、アオコの増殖が活発であると考えられる時期における植物プランクトンの成長速度を検討すると、以下の様な結果が得られる。

- 1) 水温が一定の場合においては、 DIN 濃度が、0.01~0.5ppm程度の低濃度下における成長率の増分が大きい。
- 2) DIN 濃度が一定の場合においては、水温が25~30℃以上の場合に成長率の増分が大きい。

以上のことより、アオコの成長が活発に行われる時期における水温もしくは DIN 濃度のどちらか一方が低い値を示したときには、その低い値を示したものによる影響を強く受けることがわかる。したがって、図7(a)に示したように、1991年8月以降のように急激に DIN 濃度が減少した場合にはその支配を強く受け、また、1992年7月のように、平均水温が低い場合には水温の影響を強く受けることになる。ここで、1991年と1992年におけるアオコの増殖が活発であったと考えられる期間の総成長率 PHT_{max} の計算結果を比較すると、6月における増殖速度は、1991年の値が0.55、1992年が0.32と1991年がやや高いが、9月においては1991年が0.85、1992年が2.5と1992年がかかなり高い。したがって、1992年のアオコの長期化の

原因はこの無機窒素の量に関係しており、特に NH_4-N との相関が高いことがわかる。さらに、無機リンにも同様な傾向にあり、1992年のアオコ発生長期化は無機栄養塩の影響であると推測できる。

5 おわりに

本研究では、湖山池の水質およびアオコの発生状況を2年間観測し、以下のような結果を得た。

- (1) 1991年と1992年では夏期のアオコの発生状況が異なっており、1992年には11月まで発生していたことが観測された。
- (2) 湖山池の水質に関しては、アオコの発生によって影響されるpH、COD、 $T-N$ および $T-P$ がアオコの発生する夏期に悪化することがわかった。まず、pHに関しては、通常中性であるが、夏期には1.0程度のアルカリ性を示し、有機物の影響を受けるCOD、 $T-N$ および $T-P$ はアオコすなわち植物プランクトンの量が増加する夏期に高濃度となる。最大値はCODで100ppm以上、 $T-N$ で2ppm以上、 $T-P$ で1ppm以上が観測された。
- (3) アオコの発生すなわち植物プランクトンの成長速度と関係があるDO、水温および無機栄養塩と湖山池でのアオコ量との関係を検討した結果、湖山池の場合、いずれの要因にも影響されていることがわかった。特に、1992年で観測されたアオコ発生長期化の原因に関しては、無機栄養塩、特に無機窒素中の NH_4-N の濃度が原因していると思われる。

以上が主要な結論であるが、湖山池におけるアオコの発生要因とその影響度合いについてはある程度明らかになったが、アオコ発生を制御するためには、特に栄養塩が夏期に高濃度になる原因を解明する必要があり、この問題が今後の課題であると考えられる。

参考文献

- 1) 道上正規・楡谷治・朴啓次：湖山池における栄養塩負荷量に関する研究、鳥取大学工学部研究報告、第23巻、第1号、pp.99~108、1992。

- 2) 谷口文武：鳥取大学卒業論文、1993.
- 3) 檜谷治・道上正規・B. H. Othman：湖山池におけるアオコ移動の数値シミュレーション、第45回土木学会中四国支部研究発表会概要集、pp.134~135、1993.
- 4) 山根裕文：鳥取大学修士論文、1987.
- 5) 須藤隆一：環境浄化のための微生物学、講談社、1983.
- 6) 松岡譲：陸水域の富栄養化防止に関する総合研究（V）、国立公害研究所報告、第54号、1984.